



E/CONF.39/D/39

1 Oct.1962

ORIGINAL : FRANCAIS

**CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES
SUR L'APPLICATION DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNIQUE
DANS L'INTÉRÊT DES RÉGIONS PEU DÉVELOPPÉES**

Point de l'ordre du jour : C.13

France

**LE VERRE MULTICELLULAIRE
COMME ÉLÉMENT DE CONSTRUCTION
DANS LES RÉGIONS DESERTIQUES**

**Par I. PEYCHES,
Directeur des Services de Recherches
de la Compagnie de Saint-Gobain**

Les mémoires rédigés à l'intention de la Conférence des Nations Unies sur l'application de la science et de la technique dans l'intérêt des régions peu développées sont des documents de travail. Ils sont publiés tels qu'ils ont été présentés et les assertions et opinions qu'ils contiennent sont celles de leurs auteurs.

NOTES

1. Les mémoires choisis pour être présentés en séance générale pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.
2. Les mémoires choisis pour être présentés en séance spéciale pourront être obtenus à la Conférence dans l'une seulement de ces langues officielles.
3. Les résumés qui ont été rédigés pour tous les mémoires par les auteurs de ceux-ci pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.
4. Préablement à la Conférence, les mémoires et les résumés ne feront pas l'objet d'une distribution générale mais d'un tirage restreint destiné aux délégations des gouvernements et autres participants officiels. La publication et la distribution générale des actes de la Conférence s'effectueront conformément aux règles et pratiques agréées par le Comité des publications des Nations Unies.

LE VERRE MULTICELLULAIRE
COMME ELEMENT DE CONSTRUCTION DANS LES REGIONS DESERTIQUES

par I. PEYCHES,
directeur des Services de Recherches
de la Compagnie de Saint-Gobain

Le verre multicellulaire, improprement appelé aussi "mousse de verre" est un matériau comportant une multitude d'alvéoles, dont les cloisons très fines sont constituées par du verre pur.

Les constituants normaux du verre étant des minéraux très abondamment répartis dans la nature et particulièrement dans les régions stériles, notamment la silice (sable) et le calcaire, il semblait indiqué de s'adresser à un matériau vitreux pour constituer des éléments de construction partout où manquent les matériaux alumineux ou le bois de construction, pour fabriquer des briques.

L'idée est pénalisée dès l'abord par le fait que l'élaboration du verre est une opération de haute qualification technique, exigeant, en particulier, une haute température, alors que le séchage ou même une semi-cuisson des briques d'argile suffisant pour réaliser des constructions d'une pérennité relative.

La solution ne pouvait être trouvée qu'en demandant au verre des qualités supplémentaires que ne fournissent pas nécessairement les matériaux traditionnels, pour en faire un élément de confort venant se surajouter aux conditions de l'habitat traditionnel dans les régions de faible ou de moyen développement.

Justement le verre sous sa forme "multicellulaire" peut apporter une solution alliant la légèreté, la solidité, au confort thermique recherché.

Le verre multicellulaire, créé quelques années avant la dernière guerre mondiale par la Compagnie française SAINT-GOBAIN qui en a cédé licence à diverses Sociétés étrangères, a connu un gros développement pendant cette guerre, particulièrement du côté des alliés qui ont utilisé essentiellement sa propriété d'imperméabilité pour constituer des flotteurs de radeau.

Aux États-Unis, au Japon, les développements de ce produit ont connu après guerre, dans la construction, des emplois utilisant les propriétés de faible conductibilité thermique, d'imperméabilité, d'incombustibilité, d'imputrescibilité et d'inactivité chimique qui le caractérisent. Mais le verre multicellulaire est plus couramment employé en remplissage de structures de construction et associé par exemple au béton armé. Au cours des dix dernières années la Compagnie de Saint-Gobain a effectué des essais à l'échelle semi-industrielle en vue de créer un matériau qui pourrait se suffire à lui-même, c'est-à-dire qui joindrait, dans un élément unique de construction, un aspect extérieur et intérieur agréable à l'oeil, sans revêtement ou parement surajouté, en même temps qu'une dureté suffisante des surfaces pour que l'abrasion éolienne ou les chocs normaux ne les attaquent pas, une résistance interne à l'écrasement élevée pour que ces éléments puissent constituer par eux-mêmes des structures portantes, à la manière des briques ou des parpaings de ciment habituels, et apportant en même temps ses autres qualités propres, telles que l'isolation thermique.

Il est apparu très vite que les propriétés isolantes ne suffisaient pas à assurer le confort des habitations soumises à des écarts importants de température se succédant à moyenne période, comme c'est le cas pour les successions diurne - nocturne des régions tropicales. Outre l'isolement, il fallait que les constructions de ce type présentent une certaine inertie liée à une "lourdeur thermique". Cette propriété ne peut être obtenue que par la capacité calorifique et la masse du matériau. Cette dernière semble en opposition avec les critères de légèreté et de faible conductibilité thermique retenus. Il fallait donc rechercher un compromis, et une analyse plus profonde des phénomènes en présence était nécessaire.

Dans le verre multicellulaire la plus grande partie des pores ne communiquent pas entre eux et constituent donc autant de petits récipients qui sont remplis d'un gaz sous pression réduite, gaz provenant de la décomposition de l'agent moussant utilisé au moment de la fabrication.

L'expansion se produit à haute température, laquelle peut dépasser 800°C, le verre étant très mou à ce moment, et le gonflement étant lent, on peut admettre que la surpression dans les cellules qui se forment est faible par rapport à la pression ambiante. Par contre le retour à la température, dite de recuisson, à laquelle le verre est définitivement solidifié, est rapide, de sorte que le tassement est négligeable. Ainsi au retour à la température ambiante un vide relatif pouvant correspondre au quart de la pression atmosphérique, règne dans les alvéoles, ce qui contribue à l'efficacité isolante de ce matériau. Aucun autre produit mousse, à basse température (ciment poreux, plastiques mousses) ne peut évidemment présenter cet avantage.

De leur côté les produits fibreux ne présentent pas l'avantage d'avoir chaque cellule aérienne sans communication avec les voisines. La conductibilité thermique se fait donc pratiquement uniquement par les ponts que constituent les cloisons. La résistance mécanique, elle, est régie par l'épaisseur des cloisons, par leur nombre par unité de volume, leur forme et leur distribution.

Sans développer le calcul reliant ces différentes données, nous fournirons tout de suite les courbes expérimentales.

L'un des avantages du verre multicellulaire est de se prêter, suivant les conditions de fabrication, à la réalisation d'une gamme de produits dont la densité peut par exemple aller d'un minimum de 0,1 g./cm³ pour laquelle la tenue du matériau est encore suffisante, jusqu'à la densité du verre massif, qui est de 2,5.

La courbe fig. 1, montre la variation de la résistance à l'écrasement lorsque la densité varie de 0,1 à 0,5 ; les mesures macroscopiques ont été effectuées sur des demi briques réelles de dimensions standards. Comparée à d'autres matériaux, on notera que cette résistance est remarquablement élevée. A titre d'illustration, la brique de densité 0,5, ayant une résistance à l'écrasement de 75 kg./cm² peut théoriquement supporter un mur constitué au-dessus d'elle avec des briques similaires qui aurait 1.500 mètres de hauteur. Cette remarquable résistance est due, outre le fait de l'extrême résistance du verre à la compression, au mode particulier de fabrication qui assure une soudure complète et intime de tous les grains de verre entre eux et donc une continuité de l'architecture des cellules qui n'existe pas dans la plupart des matériaux poreux de structure hétérogène.

Pour la densité la plus faible, soit 0,10, la matière vitreuse ne représente que 4 % du volume. La porosité est de 96 %. Elle s'abaisse à 90 % pour la densité 0,25 et atteint encore, pour la densité 0,5, 80 %. La proportion des pores ouverts, qui atteint 5 % pour les densités les plus faibles, est négligeable (moins de 1 %) pour les produits de densité 0,5. L'imperméabilité est donc pratiquement totale. Soumis à l'immersion prolongée, la quantité d'eau retenue en surface, par capillarité, est inférieure à 1 g. par dm². Il n'y a pas pénétration.

La courbe fig.2, donne la variation de conductibilité thermique en fonction de la densité. Comme pour la plupart des matériaux, le coefficient de conductibilité calorifique croît avec la température, mais cette variation, utile à connaître pour le calorifugeage de conduites chaudes, n'est pas à retenir ici. On notera par contre que la variation avec la densité est beaucoup moins rapide que celle de la résistance à l'écrasement. Cette propriété est mise en évidence par la courbe fig. 3, dans laquelle on compare les deux grandeurs résistance - conductibilité. On y note que le coefficient de conductibilité λ n'est encore que de 0,07 pour des produits s'écrasant à 30 kg./cm² et de 0,10, pour des produits s'écrasant à 80 kg./cm².

Le verre multicellulaire permet donc de réaliser des matériaux isolants de hautes performances mécaniques, et celles-ci seront toujours superfétatoires si nous introduisons en outre la notion de "lourdeur thermique". Il est apparu contre indiqué, en effet, de rechercher des produits très légers, et une densité de l'ordre de 0,5 a paru le mieux concilier une bonne isolation, une inertie appréciable pour un cycle thermique de 24 heures et naturellement une excellente résistance mécanique.

Un tel verre multicellulaire a un coefficient de dilatation identique à celui du verre massif dont il est issu, soit $85 \text{ à } 90 \times 10^{-7}$. Des considérations techniques de fabrication indiquent pourtant l'intérêt d'un verre à faible coefficient de dilatation, voisin de $0,35 \text{ à } 0,40 \cdot 10^{-7}$, qui autorise des recuissons plus sommaires.

La chaleur spécifique est comprise entre 0,11 et 0,13.

Le mode même de fabrication, pour de telles densités, permet d'obtenir en surface une compression du matériau telle que les alvéoles ne se forment pas, de sorte qu'une croûte superficielle, très dure, enveloppe la partie cellulaire de la pièce.

L'élément moussant le plus communément utilisé dans la fabrication industrielle du verre multicellulaire pour les usages d'isolation, est le carbone sous différentes formes. L'aspect noirâtre du produit obtenu est à rejeter, non seulement pour son aspect peu agréable, mais à cause de la forte absorption du rayonnement solaire, et la forte réémission qui en résulte. Nous avons donc développé des procédés de moussage au calcaire qui conduisent à des surfaces dures et lisses d'une couleur gris clair, qui peuvent d'ailleurs être colorées de diverses manières en utilisant pour les faces vues des verres eux-mêmes teints dans la masse par les procédés habituels des verriers. La permanence de la teinte est alors assurée.

La fabrication se fait par moulage individuel des éléments de construction. Les procédés classiques dans ces fabrications de verre multicellulaire, et qui conduisent à découper les formes requises dans une masse pouvant être produite en continu, outre qu'ils ne se prêtent pas à une exploitation autre que fortement centralisée, ne sont pas applicables ici, car l'élément fabriqué doit comporter ses peaux obtenues par l'écrasement de la masse moussante contre les parois d'un moule de forme.

Le verre, qui constitue la matière première du produit, sera obtenu dans des fours à haut rendement, car on ne lui demande aucune des qualités habituellement requises du verre : homogénéité, absence d'infondus, de bulles, etc ... De même, à cette étape, il n'exige aucune recuisson. Après broyage à fine granulométrie (moyenne 30 à 40 microns), il est mélangé avec l'agent moussant, puis les moules chargés sont introduits dans le four de moussage où la température s'élève progressivement de 600 à 810°. La durée de l'opération, qui

se fait dans un four continu, est de l'ordre de l'heure. Le défournement à 600° s'accompagne d'une recuisson, comme pour tout produit verrier. L'autorecuisson de ce produit extrêmement isolant pourrait suffire si l'on opérait sur de grandes masses pour lesquelles le rapport volume - surface est très grand, mais la nécessité de charger progressivement les arches de recuisson, amène à contrôler, par apport direct de chaleur, la température de l'enceinte. Pour un verre à fort coefficient de dilatation, le retour à la température ambiante s'effectue en 12 à 18 heures. Ce temps serait notablement raccourci pour des verres à faible coefficient de dilatation.

Les briques obtenues ont des formes géométriques à tolérances serrées. Leur empilement n'entraîne pas l'intervention de lits de jointoyage épais. L'adhérence des liants habituels est telle qu'un panneau formé de l'assemblage de briques peut être suspendu sans dislocation. Les photographies des figures 4 et 5 représentent respectivement cette dernière propriété et une construction expérimentale réalisée avec ce matériau. Les briques ont ici une épaisseur de 10 cm. et sont équivalentes, au point de vue isolation, à un mur de maçonnerie ordinaire de 40 cm. d'épaisseur.

Ces travaux, entrepris à l'occasion d'études préliminaires d'implantations pétrolières en Arabie Séoudite, ouvrent une voie qui est très loin d'avoir été entièrement explorée, tant du point de vue technique qu'économique. Ils apportent une possibilité de solution au problème de l'habitat confortable dans les pays de climat désertique amenés à utiliser au maximum les matières premières locales.

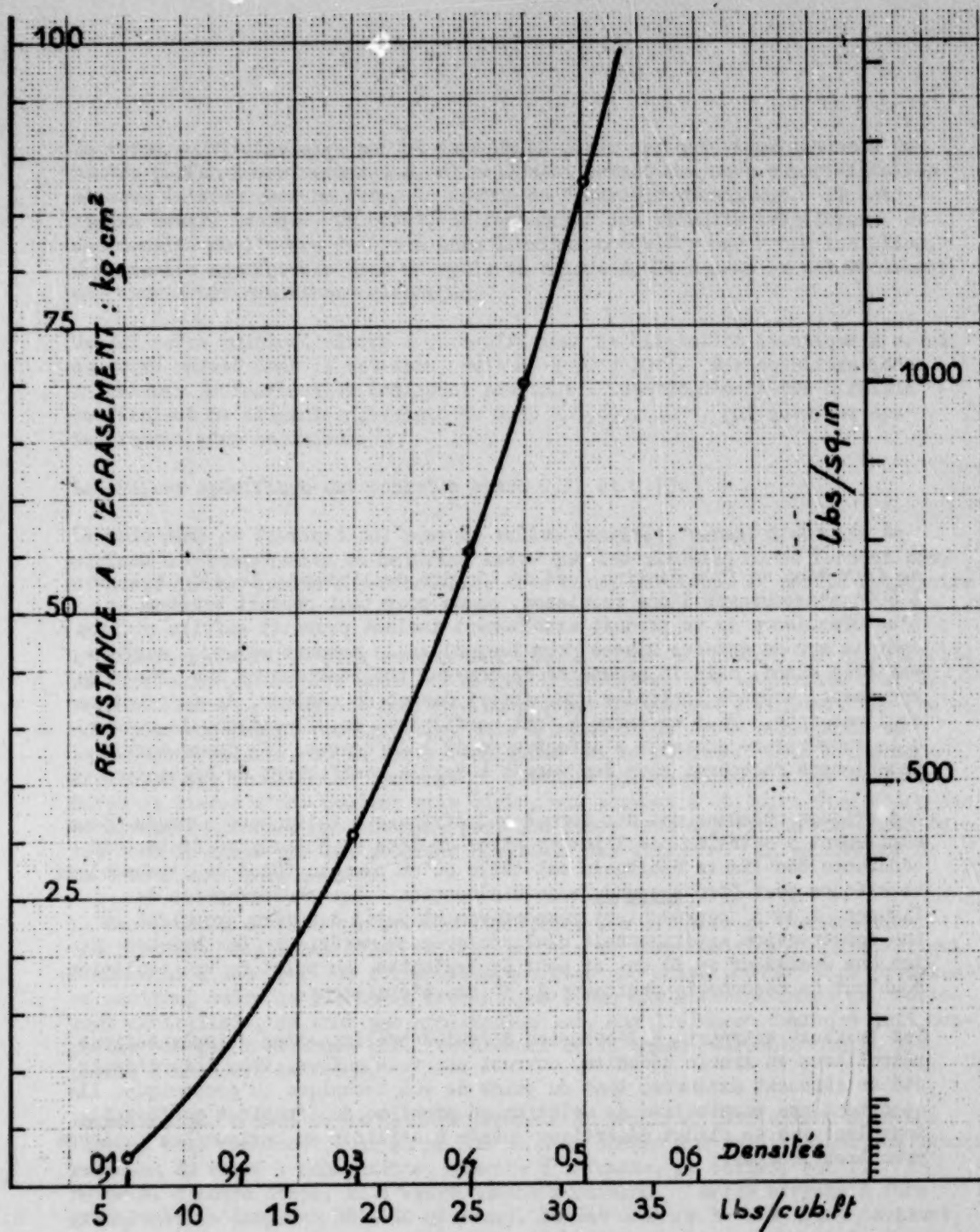


Fig. 1 - Résistance à l'écrasement du verre multicellulaire

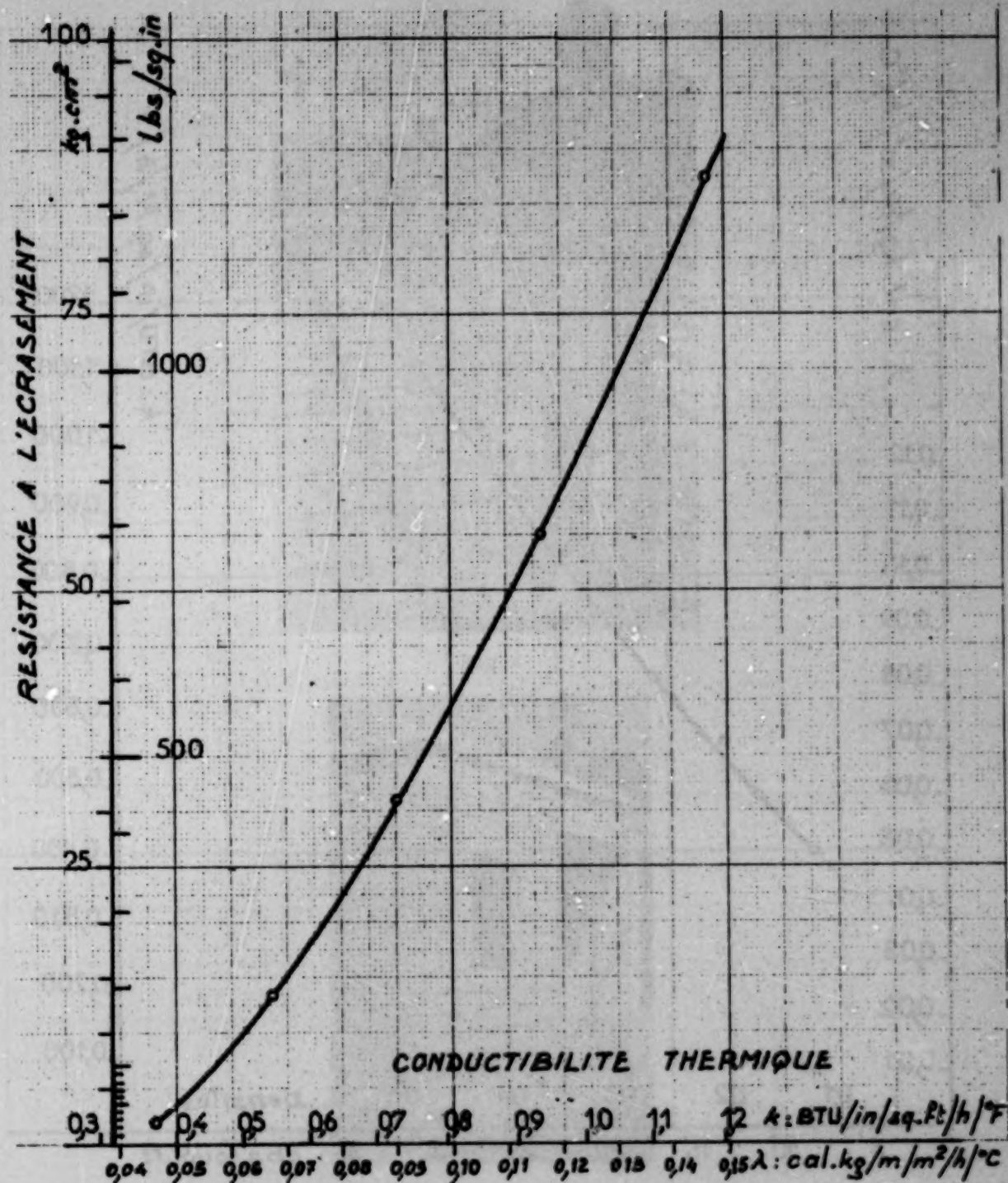


Fig. 2 - Conductibilité thermique du verre multicellulaire

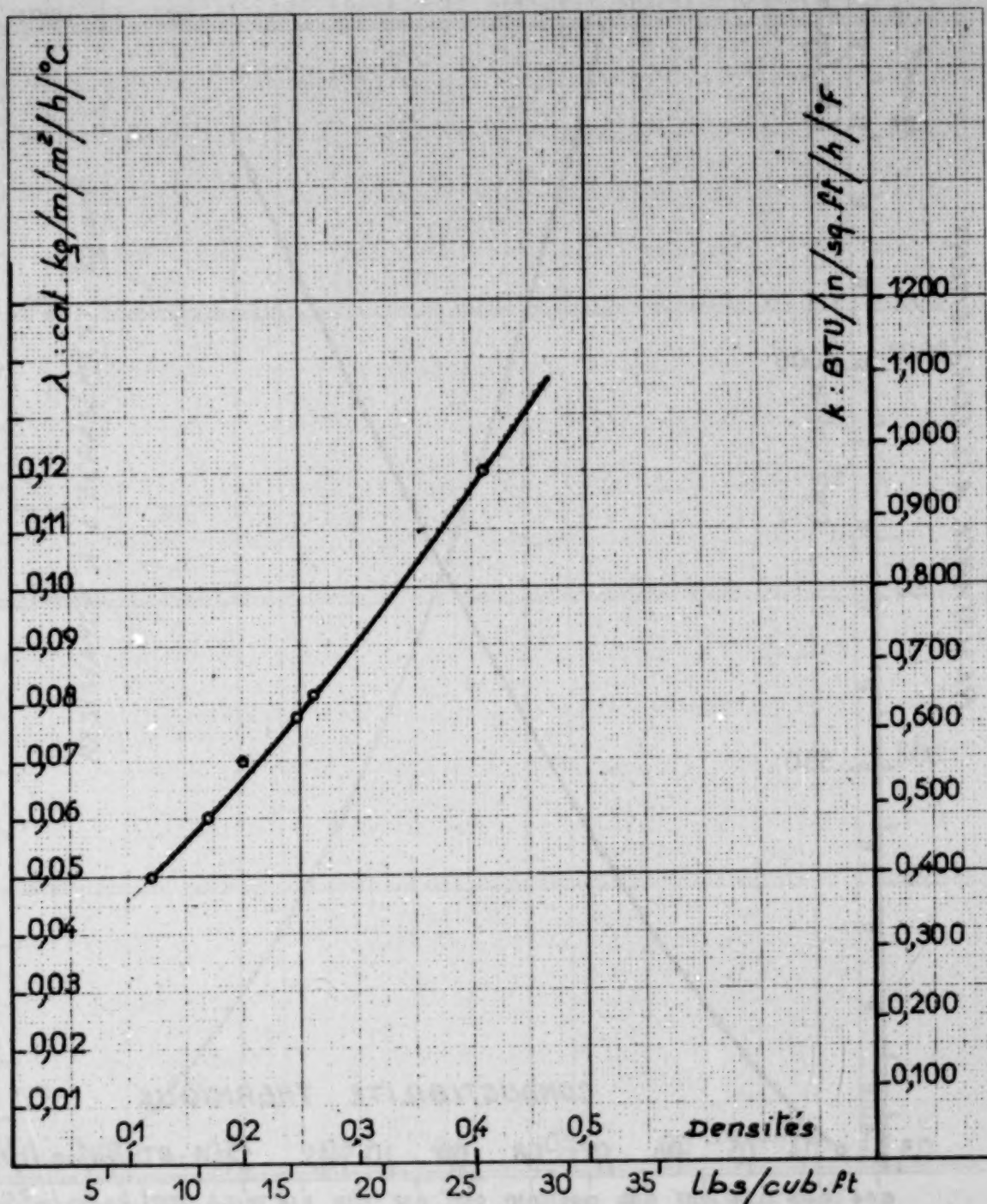


Fig. 3 - Verre Multicellulaire
 Résistance à l'écrasement (kg-cm²) en fonction
 de la conductibilité thermique (Cal. kg/m/m²/h/°C)



Fig. 4

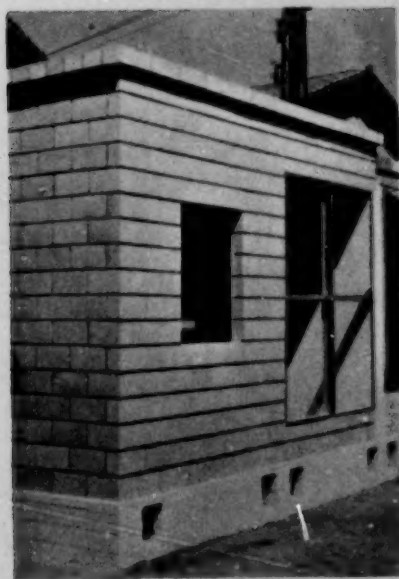


Fig. 5



Figure 1. A photograph of the building shown in the drawing above. The building is a small, single-story house with a gabled roof and a chimney. The drawing is a technical drawing of the building, showing the roofline and the chimney. The person standing next to the building is used for scale.